

УДК 62-233.3/9

## РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ

**Абзалов А.Р., Иванова В.Н., Хабаров А.Е.**

*ГОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева», Казань, e-mail: kai@kai.ru*

Предлагается подход к осуществлению размерного анализа, выполняемого на этапах конструкторской и технологической подготовки машиностроительного производства. Анализ осуществляется на параметрических моделях с помощью электронных таблиц. Размерные параметры конструкции задаются в сборке, откуда считываются в геометрические модели деталей и учитываются при их построении. Относительное расположение деталей задается с помощью сопряжений, характерных для сборки конструкции, выполненной в материале. Для каждого размера назначаются верхнее и нижнее предельные отклонения. Размер замыкающего звена считается непосредственно по модели. В электронной таблице, изменяя номинальные размеры на предельные, выясняется характер влияния звеньев на замыкающее звено и моделям присваивается наиболее неблагоприятное сочетание размеров звеньев. Модифицированная конструкция анализируется инструментом анализа геометрических моделей. В качестве примера рассматривалась гиперболоидная передача. Рассматриваемый подход может быть применен для расчета технологических размерных цепей, сопровождающего проектирование технологий изготовления деталей.

**Ключевые слова:** гиперболоидная зубчатая передача, размерная цепь, замыкающее звено, передаточное отношение

## DIMENSION ANALYSIS BASED ON PARAMETRIC MODELS AND SPREADSHEET CALCULATIONS

**Abzalov A.R., Ivanova V.N., Khabarov A.E.**

*Kazan State National Research University n.a. A.N. Tupolev, Kazan, e-mail: kai@kai.ru*

An approach to perform dimensional analysis while designing mechanical products and technologies is presented. Approach presented is based on using parametric associative geometric models, designed in NX, and linked with designfiles spreadsheets. Geometric parameters of design are determined in assembly, according with geometric features of parts and how they associate in assembly. These geometric parameters from assembly are given to parts and used as feature sizes. To every parameter tolerances are applied. To close the dimensional chain one should measure it from the model and save as parameter too. Changing the value of every parameter in a spreadsheet one could determine how it affect on resulting measure. After that all parameters are changing to two worst combinations and model are investigated with geometric analysis tools. As example approach presented was used to analyze hyperboloid gear box. Approach described could be used to analyze dimensional chains while designing machine parts manufacturing technologies.

**Keywords:** hyperboloid gear box, contacting surfaces of hyperboloid, gear wheels, interval tolerance

Обоснованное назначение рациональных норм геометрической точности, характеризуемых допусками на размеры, допусками формы и расположения поверхностей применительно к изделиям машиностроительного производства, призвано обеспечить их качество и надежность, а также исключить излишние затраты на изготовление. Нормирование точности рационально сопровождать размерным анализом. Выполнение размерного анализа также необходимо при проектировании технологических процессов изготовления деталей с повышенными требованиями к геометрической точности, соизмеримой с точностью, обеспечиваемой оборудованием, а также при проектировании технологий сборки. Особенно актуален размерный анализ для новых образцов техники, для проектирования которой отсутствуют стандарты, руководящие документы и другая информация, позволяющая обоснованно осуществлять нормирование точности. В со-

временных CAD/CAM/CAE системах имеются инструментальные средства размерного анализа, позволяющие осуществлять расчет размерных цепей, как методом полной взаимозаменяемости, так и вероятностным методом, но результаты расчета не влияют на геометрию моделей, выполненных по номинальным размерам. Инструментальные средства размерного анализа часто не доступны пользователям в той комплектации программных продуктов, которыми располагают предприятия или учебные заведения. Например, в академической версии NX 8.5 и далее инструмент расчета размерных цепей отсутствует. В версии 8 он дает некорректные значения и служит, вероятнее всего, только для ознакомления. Тем не менее с задачами решения размерных цепей периодически приходится сталкиваться, и в данной статье предлагается подход к решению размерных цепей с привлечением электронных таблиц, сопровождающих модели.

Для гиперболических передач (рис. 1) отсутствуют стандарты, нормирующие их точность. По аналогии с другими типами зубчатых передач, например, такими как конические, гипоидные, необходимо выявить показатели норм кинематической точности, плавности хода и пятна контакта [1, 2], обеспечивающие работоспособность передачи при закладываемых в конструкцию показателях надежности. Числовые показатели точности передачи могут определяться по аналогии.

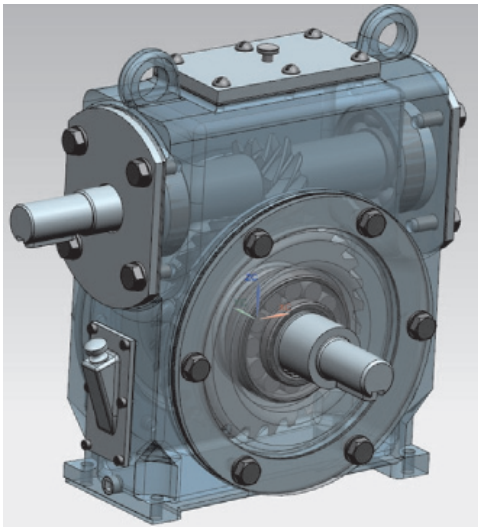


Рис. 1. Модель редуктора с гиперболическими зубчатыми колесами

Необходимо также корректно назначить нормы точности деталей передачи, таких как валы, корпусные детали и другие, обеспечивающие правильное относительное расположение делительных гиперболических (рис. 2).

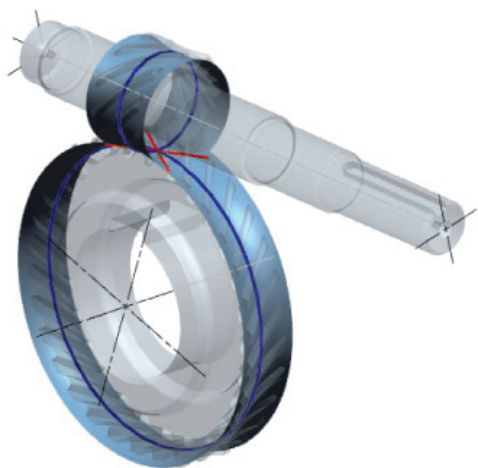


Рис. 2. Совмещение делительных гиперболических зубчатых колес, участвующих в зацеплении. Красные линии – линии пересечения гиперболических; синие – горловые сечения делительных гиперболических

Анализ влияния отклонений на выше-названные параметры желательно осуществлять с применением инструмента анализа по трехмерным моделям непосредственно в CAD/CAM/CAE системе. Данная работа выполнялась в системе NX, предоставляющей пользователю эффективный набор инструмента для анализа геометрических моделей.

Моделирование рационально вести в контексте сборки, для удобства контроля взаимного расположения деталей конструкции и выявления элементов конструкции, образующих размерные связи. При этом относительное расположение деталей задается с помощью сопряжений сборки, характерных для конструкции, выполненной в материале. Размеры элементов геометрии деталей, участвующих в размерных цепях, необходимо определять в качестве параметров конструкции. Данные параметры удобнее определить непосредственно в сборке, откуда они могут быть считаны непосредственно в файлы деталей и учтены в качестве размеров их элементов геометрии. Моделирование деталей требуется осуществлять таким образом, чтобы непосредственно учитывалась специфика простановки размеров на модели или чертеже каждой детали и данные размеры непосредственно обеспечивали точность замыкающего звена в размерной цепи [7]. Например, для детали вал-шестерня (рис. 3) моделирование начинается с моделирования зубчатого колеса. Затем моделируется цилиндр, имеющий максимальный диаметр шейки вала и длину  $A_6$ , начало цилиндра смещено влево на расстояние  $A_1 + A_2$ . Цилиндр логически объединяется с зубчатым колесом. Затем моделируются проточки, расположение которых соотносится с соответствующими торцовыми поверхностями модели, но ни их положение, ни размеры не влияют на рассматриваемую размерную цепь.

Используются традиционные методы нормирования точности в параметрах моделей. Например, метод равных допусков, метод равной точности [8], если значение допуска на замыкающее звено задается из условий работоспособности или собираемости конструкции. Назначаются верхние и нижние предельные отклонения на каждый размер каждого геометрического элемента всех моделей деталей, участвующих в сборочной размерной цепи. В сборке вводится параметр – «Замыкающее звено», числовое значение которого определяется измерением на модели, например это межцентровое расстояние между горловыми

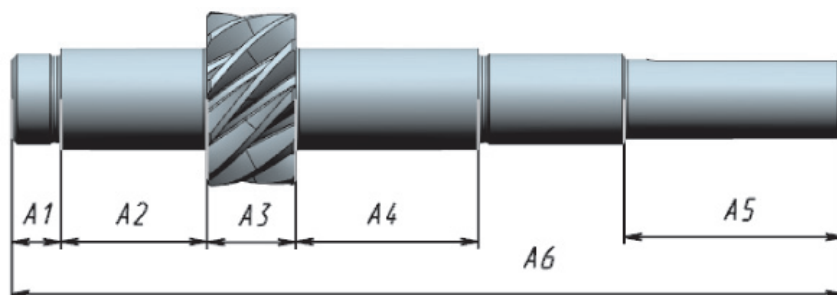


Рис. 3. Соотнесение параметров конструкции с размерами геометрических элементов модели

сечениями делительных гиперболоидов или осевой зазор в подшипниковом узле. Далее осуществляется вход в электронную таблицу, представляющую данные электронной модели. В надстройках осуществляется выделение выражений. Далее поочередно анализируется влияние каждого размера на замыкающее звено, добавлением к номинальному значению размера одного из предельных отклонений. После обновления модели результат замера значения замыкающего звена, отраженный непосредственно в электронной таблице, анализируется. Выявляется, какие из звеньев размерной цепи являются увеличивающими, а какие – уменьшающими. Далее значениям звеньев присваиваются поочередно такие, которые обеспечат получение максимального и минимального значения замыкающего звена. При данных сочетаниях размеров конструкция анализируется инструментальными средствами анализа геометрии (Измерения, анализ зазоров и интерференций).

Для учета влияния «векторных» звеньев размерной цепи необходимо дополнительно предусматривать относительное позиционирование геометрических элементов деталей, связанных также с параметрами моделей, доступными для изменения в виде координат

или размеров, и непосредственно векторных величин, вдоль которых будут осуществляться геометрические построения.

Для анализа влияния бокового зазора на собираемость и работоспособность передачи, по результатам расчета боковых поверхностей зуба моделируется геометрия, соответствующая впадине зуба (используется методика [4, 5]) (рис. 4). В случае необходимости, с учетом вносимых изменений в профиль образующей линии может быть получена геометрия профильно-модифицированного зуба [6]. Данные геометрические элементы могут тиражироваться как равномерным круговым массивом вокруг оси вращения зубчатого колеса, так и неравномерно, с моделированием погрешности шага, обусловленного, например, неточностью позиционирования заготовки по угловой координате при обработке на станке. Так как впадина моделировалась по номинальным результатам расчета боковых поверхностей, увеличение размера впадины для моделирования гарантированного бокового зазора осуществляется на основе применения инструмента синхронного моделирования – смещение боковых граней впадины вращением вокруг оси вращения зубчатого колеса на заданный угол.

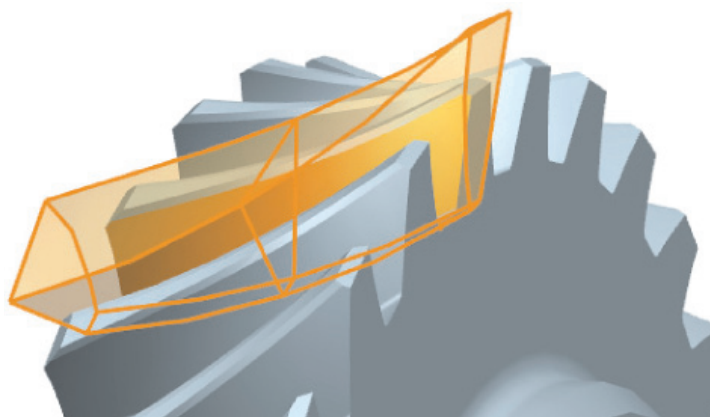
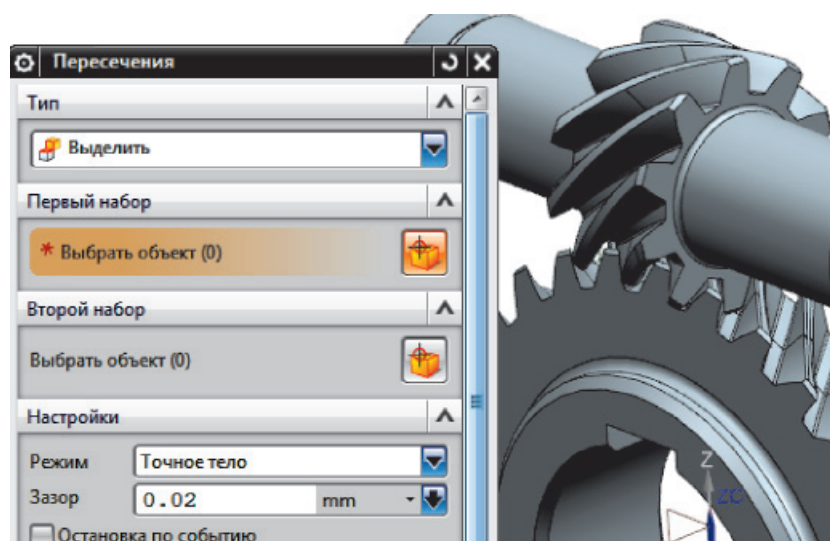


Рис. 4. Модель впадины зуба и его тиражирование вдоль периферии зубчатого колеса



а



б

Рис. 5.

а – диалог расчета «Пересечения» при моделировании работы зубчатых колес в зацеплении;  
 б – полученная при наличии погрешностей форма пятна контакта

Анализ характера пятна контакта может осуществляться в приложении «Симуляция движения». Ведущему зубчатому колесу сообщается вращательное движение. Между зубчатыми колесами формируется 3D-контакт и предусматривается расчет «Пересечения», в том числе и при указании минимального значения зазора, гарантирующего наличие масляной пленки. На ведомом колесе моделируется нагрузка. При моделировании работы характер пятна контакта формируется в виде «тела пересечения» на поверхностях зубьев, при учете гео-

метрических погрешностей, обусловленных неточностью изготовления и неточностью сборки (рис. 5).

Аналогичный подход может быть реализован для расчета размерных цепей, выполняемого при проектировании технологических процессов изготовления деталей, в том числе если пользователю предоставляется не мастер-модель детали, а ее ассоциативная копия. Размеры детали и исходной заготовки могут быть параметрически заданы на основе применения инструмента «синхронного моделирования». Если технология



моделируется применительно к использованию станков с ЧПУ, то удобнее размеры модели выполнять по средним значениям и назначать на них симметричный допуск. В отличие от традиционного подхода, при котором необходимы геометрия готовой детали и исходной заготовки, между операциями формируется геометрия «Заготовки в процессе обработки», необходимо данную геометрию моделировать по параметрам, назначать допуски на все операционные размеры. Анализ будет осуществляться над «Припусками», являющимися замыкающими звеньями технологических размерных цепей [3].

#### Список литературы

1. ГОСТ 1758-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические и гипоидные. Допуски. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам. 1981 г. – 43 с.
2. Калашников С.Н., Калашников А.С. и др. Производство зубчатых колес: Справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с.
3. Матвеев В.В., Тверской М.М. и др. Размерный анализ технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
4. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Расчет положения производящих линий при формообразовании боковой поверхности зубьев гиперболической передачи // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/120-16410> (Дата обращения 10.10.2016).
5. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Кинематика формообразования боковой поверхности зубьев гиперболической передачи концевым инструментом // Фундаментальные исследования. – 2014. и № 12–11. – С. 2310–2314.
6. Печенкин М.В. Профильная модификация зубьев гиперболической передачи // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2007. – № 2. – С. 29–32.
7. РД 50-635-87 Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1987. – 45 с.
8. Солонин И.С., Солонин С.И. Расчет сборочных и технологических размерных цепей. – М.: Машиностроение, 1980. – 110 с.